

流合雑音を改良した通信機器用 Ni-Zn系フェライト材料の開発

Development of Ni-Zn Ferrite Materials with
Improved Ingress Noise for Telecommunication

小湯原徳和* Norikazu Koyuhara
田中 智* Satoru Tanaka
門脇 誠* Makoto Kadowaki
村上志郎** Shirou Murakami

現在、情報インフラとして注目されているものの中にケーブルテレビ (Community Antenna TeleVision or Cable TeleVision: CATV) がある。しかし、CATVを用いてデータ伝送する際に流合雑音が問題となる。最近になってCATVの分配、分岐器用トランスに用いられるフェライトコアの磁化により、流合雑音が増大することがわかった。著者らはこれが磁性材料の磁歪現象と関係があることを見だし、組成検討の結果、CATVの分配器、分岐器用トランスに適したフェライト材料を開発した。

Now, CATV (Community Antenna TeleVision or Cable TeleVision) is watched as information infrastructure. But ingress noise exists as some trouble at the data communication by CATV. We got information that ingress noise was increased by magnetization of ferrite cores used in the transformer for the distributor or directional coupler applying CATV. We found this phenomenon is related to magnetostriction and developed new ferrite materials for applying CATV.

① 緒 言

情報通信分野ではブロードバンド化に伴い、高速で大容量の情報を伝達することが求められている。その中で、CATVが放送にも通信にも対応できるブロードバンドアクセスとして注目を浴びている。

この双方向CATVシステムは、基本的に同軸ケーブルを用いたツリー状(図1)またはスター状ネットワークで構成されており、CATVインターネットサービスを行う場合、下り(センター側→端末側)に加え、上り(端末側→センター側)を使用する。

このため双方向CATVシステムの上り信号は、センター側にすべて加算される。この時同時に各加入者宅や各系統から混入した雑音成分がヘッドエンド(センター側)に累積(流合)してくる。これを流合雑音と呼び、1つひとつは、ささいなものだが累積した結果、巨大なノイズとなって監視装置の誤作動やインターネット接続の不安定化などを招くことがある。近年利用者が増え、まとまったファイルや映像などが送られるようになっていることからこの問題は深刻化し、対策が必要とされている。

流合雑音には、端末機器および線路増幅器で発生する熱雑音と家庭内の電化製品(ドライヤー・蛍光灯の点灯時、電子レンジ・インバーターエアコンや冷蔵庫のコンプレッサーなどの電源スイッチ切り替え時)、市民無線、短波放送電波などが主な原因となって外部からCATV伝送路に混入してくる雑音とがある。

混入経路としては、CATV回線のシールド性の悪い部

分(じか付けのコネクタや品質の低い同軸ケーブル)からの飛び込みや、商用電源を通じてテレビやビデオなどからの混入が考えられる。

流合雑音対策としては以下の方法が実施、検討されている¹⁾。

- a) CATV回線、機器のシールド性を良くする。
- b) 上りを使用しない端末の上り帯域をカットする。
- c) 流合雑音が激しい分岐回線を切り離す。

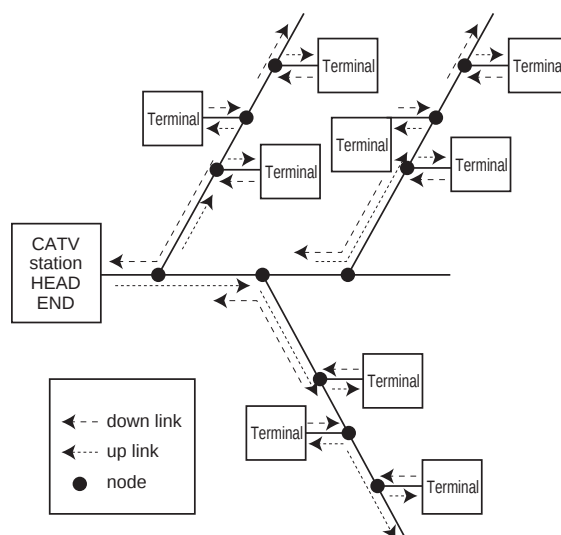


図1 CATVツリー状ネットワーク

Fig. 1 Tree-type CATV network

* 日立金属株式会社 鳥取工場

** 日立金属株式会社 先端エレクトロニクス研究所

* Tottori Works, Hitachi Metals, Ltd.

** Advanced Electronics Research Laboratory, Hitachi Metals, Ltd.

- d) 幹線に光ファイバーを用いたHFC(Hybrid Fiber and Coaxial)システム化する。(1つのツリー状伝送システムにつながる端末数を減らし、相対的に雑音をある程度まで減少させようとしたもの)
- e) 上りの周波数帯域を雑音の少ない周波数に変える。
- f) 雑音に強い変調方式を採用する。
- g) 上り端末を1つに限定し、そこから、LANケーブルや電話回線などを用いLANを構築する。

上記に示したa)～d)は実施され効果を上げているが、まだ十分であるとは言えない。e)～g)は現在各社で検討中である。

② 開発コンセプト

図1に示す経路でセンターから送信する場合、各ノード点で分岐、分配を繰り返し行う必要があるが、この分配器、分岐器用トランスにフェライトコアが使用されている。

このフェライトコアが落雷、電化製品の突入電流等により磁化すると送信信号にひずみが発生し、流合雑音の増大につながるものが最近になってわかってきた。

調査の結果、フェライトコアの磁化前後のインピーダンス周波数特性を見ると磁化前にはなかった波形のひずみが磁化後に発生することがわかった(図2)。

このインピーダンスひずみの原因がフェライトコアの磁歪現象(磁性体を磁化すると磁性体の寸法が変化する)に起因するものであると推測し、従来特性を維持しつつ、磁歪定数が小さくなるような組成検討を実施した。

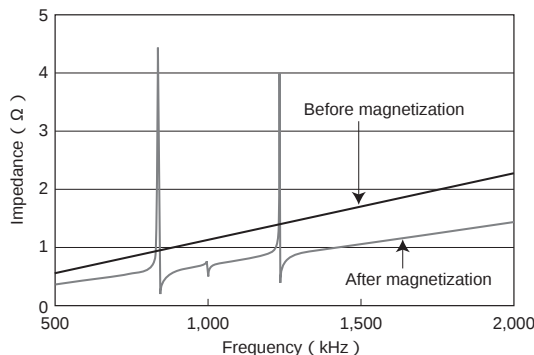


図2 フェライトコアのインピーダンス周波数特性
Fig. 2 Frequency characteristics of impedance for ferrite core

③ 開発目標

- 1) インピーダンスのひずみ量(定義後述)
: 従来材(表3, No.13)と比較して1/2以下
- 2) 初透磁率: μ_i
分岐器用, $\mu_i = 400 \sim 600$
分配器用, $\mu_i = 1,000$
- 3) キュリー温度: $T_c = 100$
- 4) 初透磁率の相対温度係数: $\alpha_{\mu ir} = 5 \text{ ppm/}$

④ 実験方法

4.1 形状比較

磁化後におけるインピーダンスのひずみの原因が磁歪

であることを検証するために、コア形状を変化させ磁歪の発生する周波数 f_0 との関係进行调查した。

f_0 (Hz) は薄いリング状の試料において、一般的に次式で表すことができる²⁾。

$$f_0 = \frac{\sqrt{E/\rho}}{2 \times \pi \times R} \dots\dots\dots (1)$$

ここで R: 平均コア半径 (m), E: ヤング率 (Pa), ρ : 密度 (kg/m^3)

本実験では Ni-Zn 系フェライト材料の一般的な値として $E = 1.47 \times 10^{11}$, $\rho = 5.0 \times 10^3$ を用いて計算した。

実験に使用したコア形状を図3に、寸法の一覧を表1に示す。外径 - 高さ - 内径: 3.5 - 3.0 - 1.0 (mm) を基準とし、コアの外径を 3.0 ~ 4.0 mm まで変化させた試料 (No. 1 ~ 3) と、コアの高さを 1.5 ~ 4.5 mm まで変化させた試料 (No. 2, 4 ~ 7) を作製し、磁気飽和状態にさせた後、そのインピーダンスひずみの発生周波数を測定した。

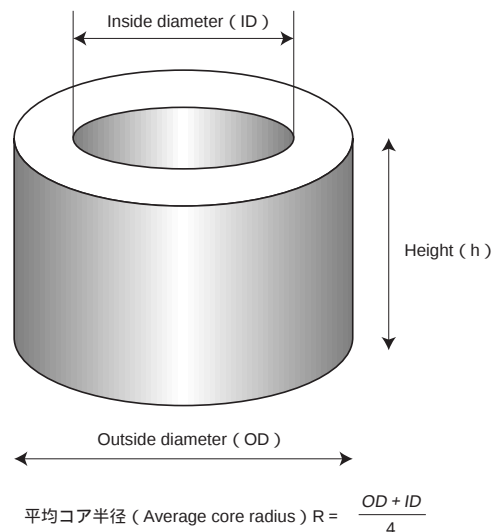


図3 コア形状
Fig. 3 Dimensions of ferrite core

表1 形状比較試料の寸法一覧
Table 1 Sample dimensions of experiment

Exp.No.	OD (mm)	h (mm)	ID (mm)
1	3.0	3.0	1
2	3.5	3.0	1
3	4.0	3.0	1
4	3.5	1.5	1
5	3.5	3.5	1
6	3.5	4.0	1
7	3.5	4.5	1

4.2 組成検討

代表的な単元フェライトの飽和磁歪 λ_s ($\Delta L/L =$ 寸法の変化の割合) の大きさは磁歪定数 λ_{100} , λ_{111} より次式で求められ表2のようになる³⁾。

$$\lambda_s = 2/5 (\lambda_{100}) + 3/5 (\lambda_{111})$$

表2 単元フェライトの飽和磁歪

Table 2 Saturation magnetostriction of simple ferrite

Simple ferrite	λ_{100} (10^{-6})	λ_{111} (10^{-6})	λ_s (10^{-6})
ZnFe ₂ O ₄	-	-	-
MgFe ₂ O ₄	- 10	+ 2	- 6
MnFe ₂ O ₄	- 25	+ 4.5	- 7
CoFe ₂ O ₄	- 250	-	- 110
NiFe ₂ O ₄	- 46	- 22	- 32
CuFe ₂ O ₄	-	-	- 10
FeFe ₂ O ₄	- 20	+ 87	- 40

表2より、任意の組成からなるフェライトの飽和磁歪 λ_s は生成される単元フェライトのmol比より算出できる。このときFe₂O₃不足組成の場合には各単元フェライトの生成順を考慮する必要がある。

上記を踏まえ、目標を達成できる組成として表3に12種類の新規組成と4種類の従来組成について、その組成比と、算出した飽和磁歪 λ_s を合わせて示す。

No.13は現在CATV用トランスで使用で、No.14~16は当社代表的Ni-Zn系フェライト材料である。

これらの組成について試作評価を実施した。

表3 フェライトの検討組成と飽和磁歪

Table 3 Experimental composition and calculated saturation magnetostriction of ferrite

	No.	Fe ₂ O ₃ (mol%)	ZnO (mol%)	NiO (mol%)	CuO (mol%)	λ_s^* ($\times 10^{-6}$)
New composition	1	47.2	30.0	14.8	8.0	- 7.1
	2	48.6	31.9	11.7	8.0	- 7.1
	3	49.0	32.0	11.2	8.0	- 7.3
	4	49.6	32.0	10.7	8.0	- 7.8
	5	48.6	32.3	11.3	8.0	- 6.8
	6	49.1	32.4	10.7	8.0	- 7.1
	7	49.5	32.5	10.2	8.0	- 7.4
	8	48.3	32.8	10.9	8.0	- 6.3
	9	48.8	32.9	10.4	8.0	- 6.5
	10	49.3	33.0	9.9	8.0	- 6.9
	11	48.3	33.3	10.5	8.0	- 5.9
	12	48.8	33.4	10.0	8.0	- 6.2
Conventional composition	13	52.0	21.0	27.0	0.0	- 17.7
	14	48.0	25.0	19.0	8.0	- 10.8
	15	47.5	23.0	21.5	8.0	- 11.6
	16	49.8	28.9	15.2	6.0	- 10.7

注) * Calculated saturation magnetostriction

4.3 製造工程

フェライトコアの製造工程を表4に示す。

表4 フェライトコアの製造工程

Table 4 Manufacturing process of ferrite core

Process	Condition
Law material	Fe ₂ O ₃ , ZnO, NiO, CuO
Mixing	Stirred bead mill $\times$ 1 h
Calcination	900 $\times$ 1.5 h
Milling	Stirred bead mill $\times$ 1 h
Granulation	Binder: 1 wt%, Granulator
Pressing	196MPa
Sintering	1,100 $\times$ 1.5 h
Evaluation	See table 5

4.4 評価方法

上記方法にて得られた焼結体について表5に示す評価を実施した。

表5 電気特性評価方法

Table 5 Evaluation method of electric properties

No.	Parameter	Instrument	Condition
1	Initial permeability: μ_i	LCR meter: HP4192	100 kHz, 1mA
2	Curie temperature: T _c ()	LCR meter:HP4192 Thermostatic chamber	Conform with JIS C2561
3	Temperature factor of initial permeability: $\alpha_{\mu ir}$ (ppm /)	LCR meter:HP4192 Thermostatic chamber	-20 ~ +20 ~ +60 , Conform with JIS C2561
4	Distortion of impedance	Impedance analyzer: YHP4194	MAX/BACK-GROUND (See below)

注) Sample dimensions

No.1 to 3 : OD-h-ID : 30-7-20 (mm)

No.4 : OD-h-ID : 3.5-3-1 (mm)

インピーダンスのひずみ量 (MAX/BACK-GROUND) の測定方法について以下に説明する。

試料準備: コアに0.5φの線芯を通し (1turn貫通), その線芯に直流電流を印加して磁気飽和状態にさせる。磁気飽和状態にするための電流値は各材料のBHカーブより算出する。

測定器: YHP製4194A, 16085A TERMINAL ADAPTER, 16092A SPRIG CLIP FIXTURE

測定方法: 測定試料に0.5φの線芯を通し (1turn貫通), 線芯の両端を上記16092Aで固定する。このとき16092Aの端子間距離は3.5~5mmとする。次に周波数範囲を500~2,000kHzに設定しインピーダンスを測定する (図4)。

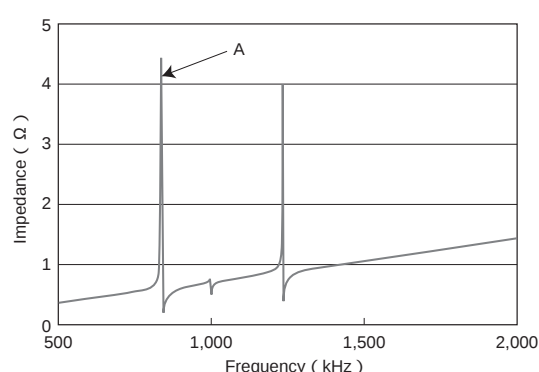


図4 インピーダンスの周波数特性 (500 ~ 2,000kHz)

Fig. 4 Frequency characteristics of impedance at 500 ~ 2,000 kHz

ここで最も大きなインピーダンス波形のひずみ (図4 A部) を探し、再度ひずみの周波数をセンターにして、測定スパン = 50kHz, 測定ピッチ = 0.125kHzで測定する (図5)。

そのときのインピーダンス最大値を“MAX”，そのときの最小周波数（ピーク周波数 - 25kHz）でのインピーダンス（図5 B部）と最大周波数（ピーク周波数 + 25kHz）でのインピーダンス（図5 C部）の平均値を“BACK-GROUND”とした。

つまり図5の“MAX/((B+C)/2)” = “インピーダンスのひずみ量 (MAX/BACK-GROUND)”である。

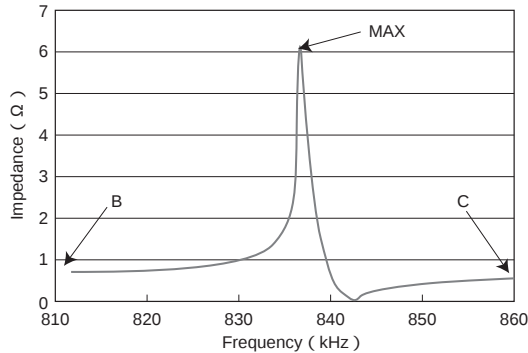


図5 インピーダンスの周波数特性（スパン50kHz）

Fig. 5 Frequency characteristics of impedance (Frequency span : 50 kHz)

5 実験結果

5.1 形状比較

インピーダンスのひずみ周波数のコア外径による影響を図6に示す。

図6の標準コア(OD-h-ID: 3.5-3-1(mm))のひずみ発生周波数は772kHzで式(1)より算出した767kHzとよく一致していることが確認できた。

また式(1)のとおりコア外径が大きくなればひずみ発生周波数が小さくなっていることから、磁化後のインピーダンスひずみの原因は磁歪であることが検証できた。

図7にコア高さの影響について示す。コアの高さが高くなるほどひずみ発生周波数が小さくなることがわかった。式(1)では薄いリング状試料が対象のため、寸法ファクターはコア径のみ考慮されるが、本実験にて高さ寸法についても考慮する必要があることがわかった。図6, 図7の実験結果より、コア径、コア高さとも考慮した式として式(2)を導いた。

$$f_0(\text{Hz}) = \frac{\sqrt{E/\rho}}{0.6 \times \text{OD} + 2.1 \times \text{ID} + h} \dots\dots\dots (2)$$

ここでOD: コア外径 (mm), ID: コア内径 (mm), h: コア高さ (mm) とする。

形状比較に用いた試料について、ひずみ発生周波数の実測値と式(1), 式(2)による計算値を表6に示す。試料No.は表1に対応する。

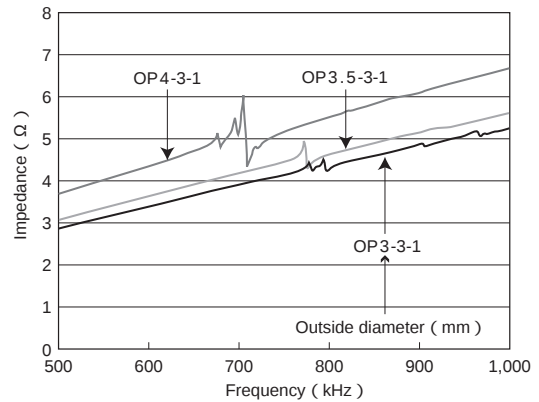


図6 インピーダンスの周波数特性のコア外径依存性

Fig. 6 Relationship between core outside diameter and impedance characteristics

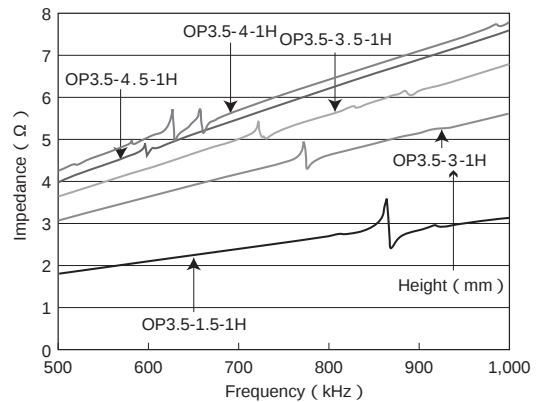


図7 インピーダンスの周波数特性のコア高さ依存性

Fig. 7 Relationship between core height and impedance characteristics

表6 ひずみ周波数の実測値と式1, 式2による計算値

Table 6 Measured values and calculated values from formulas (1) and (2)

No.	Measure (kHz)	Calculated from (1) (kHz)	Calculated from (2) (kHz)
1	793	852	787
2	772	767	766
3	706	681	727
4	864	767	967
5	724	767	714
6	628	767	669
7	598	767	629

表6より式(2)による計算値が実測値とよく一致していることがわかる。

ただし今回の検討形状は外径3.0～4.0mm, 内径1.0mm, 高さ1.5～4.5mmで、その他の形状での式(2)の妥当性については、今後吟味する必要がある。

5.2 組成検討

組成検討した結果を表7に示す。新規組成はいずれも飽和磁歪が小さくなるよう設計した。その結果インピーダンスのひずみ量も小さくなることを確認できた。また初透磁率については目標値400～600（分岐器用）、1,000以上（分配器用）を、キュリー温度についても100以上を達成できた。また初透磁率の相対温度係数はすべて5 ppm/℃以下であることを確認した。

表7 組成検討結果

Table 7 Results of experimental composition

	No.	λ_s^*1 ($\times 10^{-6}$)	μ_i^*2	T_c^*3 (℃)	(MAX/BACK-GROUND)^*4
New composition	1	-7.93	500	170	3.59
	2	-7.50	939	134	1.09
	3	-7.64	1,108	121	1.04
	4	-7.91	1,401	119	1.33
	5	-7.22	1,014	119	1.11
	6	-7.38	1,375	109	1.18
	7	-7.51	1,606	109	1.17
	8	-6.68	978	113	1.17
	9	-6.86	1,213	103	1.26
	10	-7.14	1,561	100	1.20
	11	-6.31	1,017	110	1.33
	12	-6.51	1,095	100	1.46
Conventional composition	13	-21.49	330	200	9.67
	14	-11.67	480	200	5.46
	15	-12.80	350	200	6.23
	16	-10.80	800	190	5.72

注) *1 Calculated saturation magnetostriction based on mol ratio of produced simple ferrite

*2 Initial permeability

*3 Curie temperature

*4 Distortion of impedance

代表的な結果として従来組成No.13のインピーダンスグラフを図8に、新規組成No.6のインピーダンスグラフを図9に示す。従来組成No.13に比べ、明らかに新規組成No.6のひずみが小さいことがわかる。また図10に飽和磁歪 λ_s とインピーダンスのひずみ量（MAX/BACK-GROUND）の関係を示す。これにより飽和磁歪 λ_s を小さく設定する効果が明確である。

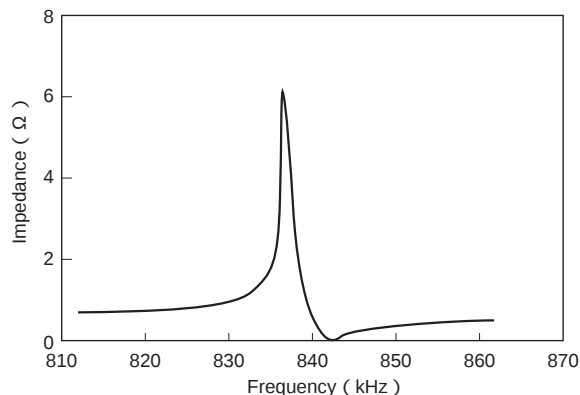


図8 インピーダンスの周波数特性（従来組成No.13）

Fig. 8 Frequency characteristics of impedance for conventional composition No.13

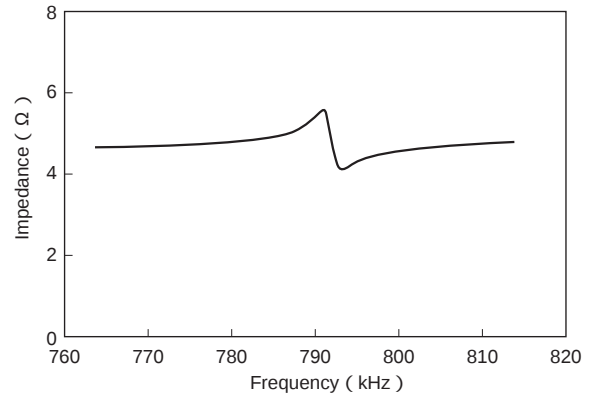


図9 インピーダンスの周波数特性（検討組成No.6）

Fig. 9 Frequency characteristics of impedance for new composition No.6

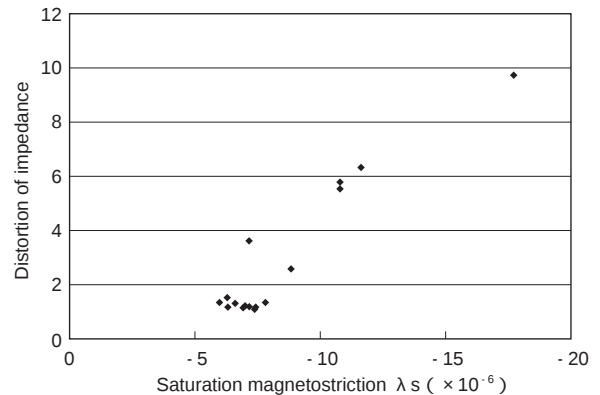


図10 飽和磁歪とインピーダンスのひずみ量の関係

Fig. 10 Relationship between saturation magnetostriction and distortion of impedance

6 結 言

CATVで発生する流合雑音を減少させるため、フェライトコアの磁化後のインピーダンスひずみ量を抑制する必要があった。このため分配、分岐器用トランスに使用されるフェライトコアの材料検討をおこない以下の結論を得た。

- (1) フェライトコアの磁化後のインピーダンスひずみが磁性材料の磁歪現象に起因するものであることを確認し、飽和磁歪が小さくなるよう組成改良することでインピーダンスひずみ量を抑制できることがわかった。
- (2) インピーダンスの歪量を抑制したCATVの分配、分岐器用トランスに適した材料を開発、製品化した。
 - ・分岐器用（検討組成No.1：当社材質名ND50S）
 - 初透磁率 $\mu_i = 500$
 - キュリー温度 $T_c = 170$
 - 初透磁率の相対温度係数 $\alpha_{\mu ir} = 5 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$
 - ・分配器用（検討組成No.6：当社材質名：NM13D）
 - 初透磁率 $\mu_i = 1300$
 - キュリー温度 $T_c = 110$
 - 初透磁率の相対温度係数 $\alpha_{\mu ir} = 5 \text{ ppm/}^\circ\text{C}$

参考文献

- 1) 吉崎正弘, 他: コミュニティメディアCATVの可能性, ぎょうせい, (2000)
- 2) 菊池喜充: 磁歪振動と超音波, コロナ社, (1966)
- 3) 平賀貞太郎, 他: フェライト, 丸善, (1986)



小湯原徳和
Norikazu Koyuhara
日立金属株式会社 鳥取工場



田中 智
Satoru Tanaka
日立金属株式会社 鳥取工場



門脇 誠
Makoto Kadowaki
日立金属株式会社 鳥取工場



村上志郎
Shirou Murakami
日立金属株式会社 先端エレクトロニクス研究所